

ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА

УДК 621.867.019.3

М.П. Латышенко, С.В. Герасименко

СМАЗЫВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ СУХОГО ТРЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ЗАПЫЛЕННОСТИ

Смазывание поверхностей трения подшипниковых узлов в условиях высокой температуры и запыленности является трудно выполнимой задачей.

Двигатели автоматических формующих линий, формовочные полуавтоматы, вращающиеся печи с холодильной установкой, печные вагонетки, вентиляторы на тоннельных печах, противоточные сушила и др. работают при повышенных температурах и запыленности. Температура колеблется от 80° до $200^{\circ} - 300^{\circ}\text{C}$. Время эксплуатации подшипника в данных условиях составляет от одного до трех месяцев.

Низкая работоспособность в данных условиях объясняется тем, что под действием температуры смазка на нефтяной основе разжижается и вытекает. Остатки смазки с абразивной пылью спекаются в твердое образование, приводящее к заклиниванию и выходу из строя сепаратора подшипника качения.

Подшипники качения горных машин и механизмов работают в высокозапыленной и влажной среде.

Характерные для данных условий мелкие фракции горной абразивной массы и влага разрушают манжетные уплотнения подшипникового узла, загрязняют смазочный материал и попадают на поверхности трения. Влага снижает смазочные свойства пластичных смазок, абразивные частицы способствуют интенсивному изнашиванию рабочих поверхностей подшипника и, как следствие, происходит разрушение подвижных элементов.

Использование для смазывания подшипников твердого антифрикционного материала на основе графита исключает разжижение и вымывание смазки, уменьшает возможность попадания абразивных частиц, снижает время технического обслуживания, обеспечивает хорошие условия смазывания.

В настоящее время известны конструктивные решения и опыт изменения твердой смазки в подшипниках качения [1]. Но отсутствует четкое физико-математическое моделирование процессов, происходящих в смазочном слое.

Рассмотрим плоское движение смазочного материала на основе графита в зазоре между шариком подшипника и наружным кольцом (рис. 1).

Считаем, что в данный бесконечно малый момент шарик неподвижен, а опорная поверхность наружного кольца прямолинейна, т.е. имеем радиус $R_H \rightarrow \infty$, и движется с постоянной скоростью V_0 вдоль оси OX .

С учетом этого, движение твердого графита между трещущимися поверхностями можно считать установившимся.

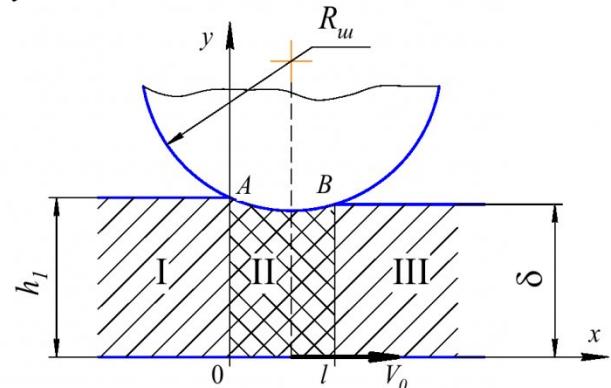


Рис. 1. Схема движения смазочного графитного слоя

В смазочном слое выделяют три характерных фазы (I, II, III) состояния графита. Первая фаза имеет слой толщиной h_1 , который пополняется отделенными от сепаратора частичками графита различными по форме и размером от 1 до 500 мкм.

Во второй фазе толщина графитного слоя уменьшается от h_1 до δ . Длина эллипса пятна контакта $0-l$ зависит от конструктивных параметров подшипника и давления в смазочном слое.

В силу анизотропности графита частицы твердой смазки ориентируются по направлению движения трещущихся поверхностей. По мере изменения координаты Y отдельные частицы графита приходят во взаимное соприкосновение и проскальзывают друг по другу по плоскостям спайности.

В связи с этим, во второй фазе взаимодействие стальных поверхностей заменяется внутренним трением в графитном слое.

В третьей фазе трещущиеся поверхности расходятся и давление в слое графита отсутствует. Частицы графита отделяются от смазываемых поверхностей.

Таким образом, смазывание поверхностей в подшипнике качения слоем графита можно представить как плоское стационарное течение жидкости, подчиняющиеся уравнениям Навье-Стокса

$$\rho \left(V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_y}{\partial y} \right) = x - \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial \left(2\mu \frac{\partial V_x}{\partial x} \right)}{\partial x} + \frac{\partial \left(\frac{\partial V_x}{\partial y} + \frac{\partial V_y}{\partial x} \right)}{\partial y}, \quad (1)$$

$$\rho \left(V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_y}{\partial y} \right) = y - \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial \left(2\mu \frac{\partial V_y}{\partial y} \right)}{\partial y} + \frac{\partial \left(\frac{\partial V_x}{\partial y} + \frac{\partial V_y}{\partial x} \right)}{\partial x}, \quad (2)$$

где ρ – плотность;

x, y – координаты;

V_x, V_y – относительные скорости вдоль координатных осей OX, OY ;

$\frac{\partial P}{\partial x}$ – частная производная давления;

$\frac{\partial V_x}{\partial x}, \frac{\partial V_y}{\partial y}$ – частные производные скорости

по координатам;

μ – динамическая вязкость.

В теории смазочного слоя принимаются следующие допущения:

1. Движение смазочного графита происходит тонким слоем между наклонными поверхностями. Протяженность слоя по длине и радиусу кривизны граничных поверхностей достаточно велика по сравнению с толщиной слоя, то есть $h(x) \ll 1$.

2. Силы инерции и массы малы по сравнению с силами давления и вязкости.

3. Скорость течения смазочного слоя в направлении нормалей к граничным поверхностям мала по сравнению со скоростью в направлении касательных к ним, поэтому принимается соотношение $V_y \ll V_x$.

4. Изменением давления по толщине пленки (ось OY) пренебрегаем.

Исходя из этих допущений, общие уравнения Навье-Стокса для плоского стационарного течения графитного слоя будут иметь следующий вид:

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\partial \left(\mu \frac{\partial V_x}{\partial y} \right)}{\partial y}, \quad (3)$$

Распределение давления в фазе II в начале и в конце слоя одинаково и, следовательно, уравнение (3) необходимо решать при следующих условиях:

$$\begin{cases} V_x = V_0 & \text{при } y = 0 \\ V_x = 0 & \text{при } y = h \end{cases}, \quad (4)$$

$$\begin{cases} P = P_0 & \text{при } x = 0 \\ P = 0 & \text{при } x = l \end{cases}. \quad (5)$$

Решая уравнение Навье-Стокса при данных условиях, определим результирующие максимального давления и касательных напряжений в слое, а также коэффициент трения, как:

$$P_{max} = 0,26 \mu_l U_0 b R_{ш} \frac{(A+1)}{\delta \left(1 + \frac{3A}{5} \right)}, \quad (6)$$

$$f_{max} = 0,37 \mu_l U_0 b l \left(1,4 \frac{\left(1 + \frac{2A}{5} \right)}{\left(1 + \frac{A}{3} \right)} - 1 \right) \delta \left(1 + \frac{3A}{5} \right) \quad (7)$$

где U_0 – скорость движения графитного слоя;

l и b – длина и ширина пятна контакта смазочной пленки;

$R_{ш}$ – радиус шарика подшипника;

δ – толщина смазочной пленки;

μ_l – начальная динамическая вязкость графитного слоя;

A – коэффициент изменения вязкости.

Изменение вязкости графитного слоя в процессе эксплуатации подшипника моделируется зависимостью:

$$\mu_0 = \mu_l \frac{(1+A)}{\left(1 + A \left(\frac{2y}{h} - 1 \right)^2 \right)}, \quad (8)$$

где μ_0 – текущая динамическая вязкость графитного слоя;

y – координата;

h – высота;

A – коэффициент изменения вязкости.

Коэффициент A находится в пределах $-1 < A < 0$ при изменении вязкости от краев слоя к его середине, а при $A > 0$ вязкость растет в серединных слоях смазки.

Из уравнений (6) и (7) определим коэффициент трения:

$$f_{max} = 10,75 l \frac{\left(1,4 \frac{\left(1 + \frac{2A}{5} \right)}{\left(1 + \frac{A}{3} \right)} - 1 \right)}{R_{ш}}, \quad (9)$$

Зависимости (6) и (7) исследованы для радиальных однорядных подшипников средней серии, применяемых в узлах горных машин и механизмов при максимальной скорости скольжения 10

м/с. Они позволяют определить расчетные параметры в подшипниках с учетом вязкости графитного слоя.

Значения коэффициента трения f , рассчитанные по уравнению (9), полученные авторами в лабораторных условиях, согласуются в пределах

от 0,01 до 0,3.

На основании теоретических исследований в КузГТУ разработаны конструкции подшипников сухого трения [2], применение которых снижает интенсивность изнашивания в 1,9...2,2 раза

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Расширение области применения антифрикционных подшипников качения / С. В. Герасименко [и др.] – М.: Передовой производственный опыт, 1991. – № 1. – С. 15-16.
2. Патент 2016278 РФ, МКУ²F16C19/00. Подшипник качения / КузГТУ, М. П. Латышенко [и др.]. – Опубл. в Б.И., 1994. – № 13.

□ Авторы статьи:

Латышенко

Михаил Павлович

- канд.техн.наук, доц. каф прикладной механики КузГТУ.
Тел. 8-3842- 316702

Герасименко

Сергей Владимирович

- канд.техн.наук, доц. каф прикладной механики КузГТУ.
Тел. 8-3842- 580390

УДК 621.822

С.В. Герасименко, М.П. Латышенко

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОМИНАЛЬНОГО СРОКА СЛУЖБЫ ПОДШИПНИКОВ СУХОГО ТРЕНИЯ

Номинальный ресурс подшипника качения (ПК) согласно ISO 281:1990 составляет:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p, \quad (1)$$

где L_{10} – номинальный ресурс (при надежности 90%), млн. об.;

C – динамическая грузоподъемность подшипника, кН;

P – эквивалентная нагрузка на подшипник, кН.

Уравнение (1) используется для расчета долговечности обычных ПК, работающих при применении жидких или пластических смазок.

Известна оригинальная конструкция ПК сухого трения с антифрикционным заполнителем (АФЗ) [1].

Подшипник с АФЗ представляет – радиальный шариковый однорядный ПК, свободное пространство между кольцами которого заполнено твердой смазкой на основе графита. Подшипники с АФЗ хорошо зарекомендовали себя при работе в условиях повышенных температур и запыленности (горношахтное и химическое оборудование, металлургическое производство и т.д.) [2].

Для правильной работы ПК после его сборки должны быть обеспечены радиальные q_r и осевые q_a зазоры между телами качения и кольцами, а также тангенциальные q_t зазоры между телами качения и сепаратором.

Антифрикционный заполнитель в подшипни-

ке сухого трения, располагаясь на змейковом сепараторе, изменяет геометрию (зазоры) в ПК. Это вызывает перераспределение нагрузки между составными частями ПК (телами качения, сепаратором и кольцами), что изменяет силовые соотношения в уравнении (1), то есть $(C/P)^p$, а, следовательно, оказывает влияние на долговечность подшипника сухого трения.

С целью учета указанных факторов на кафедре прикладной механики КузГТУ были разработаны на уровне изобретений способы определения долговечности подшипников с АФЗ.

Способ первый (Авторское свидетельство № 1306303).

Учитывает изменение радиального зазора в подшипнике с АФЗ.

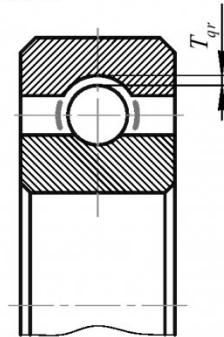


Рис. 1.

Для заданного типоразмера подшипника определяют допуск на радиальный зазор T_{qr} (рис. 1), динамическую грузоподъемность C и эквивалент-